



### III EVENTO INTEGRADO PROCIEMA Redes da Vida, como tudo está conectado

## Capacitância de um eletrodo quimicamente modificado por óxido de grafeno

### Eixo Temático 5: Estudos e Pesquisas em Física

Brenda Moraes de Oliveira<sup>1</sup>, Sandra Cristina Ramos<sup>2</sup>

#### Resumo

O crescente desenvolvimento de tecnologias voltadas ao armazenamento de energia tem impulsionado a busca por materiais com propriedades eletroquímicas aprimoradas. Nesse contexto, o presente trabalho investigou a influência do material carbonoso - óxido de grafeno (GO) - e suas propriedades eletroquímicas quando devidamente modificados para eletrodos em pasta de carbono (EPC). Determinou-se a capacitância deste eletrodo híbrido, EPCGO. Foram preparados eletrodos EPCGO contendo 5% e 10% de GO em grafite, utilizando óleo mineral como aglutinante. O GO foi sintetizado pelo método de Hummers modificado e os eletrodos EPCGO foram caracterizados por voltametria cíclica em solução eletrolítica  $KCl/K_3[Fe(CN)_6]$ . A partir dos voltamogramas cíclicos obtidos em diferentes velocidades de varredura, calculou-se a capacitância, a partir da relação entre corrente de pico capacitiva e velocidade de varredura. Os resultados mostraram que o eletrodo contendo 10% de GO em EPCGO apresentou picos redox mais pronunciados e capacitância da dupla camada elétrica de  $572,71 \mu Fcm^{-2}$ , enquanto o eletrodo contendo 5% de GO apresentou capacitância de  $49,4 \mu Fcm^{-2}$ . O aumento da concentração de GO promoveu um acréscimo significativo da capacitância e da atividade eletroquímica do eletrodo investigado. Estes resultados apontam para maior interação eletroquímica do GO a 10%. Dessa forma, conclui-se que a incorporação de óxido de grafeno em eletrodos de pasta de carbono constitui uma estratégia importante para aprimorar suas propriedades eletroquímicas, evidenciando o potencial desses materiais para aplicações em dispositivos de armazenamento de energia.

**Palavras-chave:** Eletrodo de Pasta de Carbono. Grafeno. Eletroquímica. Voltametria Cíclica.

#### Introdução

O crescente desenvolvimento tecnológico, aliado à necessidade de soluções sustentáveis para o armazenamento de energia, tem impulsionado a pesquisa de novos materiais para

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil

\*e-mail: brendamoraes.o999@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil

\*e-mail: sandraramos@uesb.edu.br

dispositivos eletroquímicos de alto desempenho (Segundo; Vilar, 2017). Nesse contexto, destacam-se os capacitores eletroquímicos, também denominados supercapacitores, que apresentam elevada densidade de potência, rápidas taxas de carga e descarga, longa vida útil e excelente estabilidade cíclica, características que os tornam promissores para aplicações em sistemas de armazenamento de energia (Conway, 1999; Béguin; Frackowiak, 2013; Yaseen et al., 2021).

O desempenho desses dispositivos depende diretamente das propriedades dos materiais utilizados na fabricação dos eletrodos. Entre os materiais amplamente empregados em estudos eletroanalíticos destacam-se os eletrodos de pasta de carbono (EPC), devido ao baixo custo, facilidade de preparo e versatilidade. Entretanto, esses eletrodos apresentam limitações, como reduzida condutividade elétrica e área superficial ativa relativamente baixa, fatores que motivam o desenvolvimento de eletrodos quimicamente modificados (EQMs), obtidos pela incorporação de espécies capazes de melhorar suas propriedades eletroquímicas (Achache et al., 2025; Murray, 1980; Monteiro; Santos Junior; Sussuchi, 2020).

Entre os modificadores empregados em EQMs, o óxido de grafeno (GO) tem despertado grande interesse por apresentar grupos funcionais oxigenados distribuídos em sua superfície, os quais favorecem a interação com espécies químicas e podem contribuir para o aumento da área superficial, da transferência de carga e do desempenho eletroquímico dos eletrodos (Segundo; Vilar, 2017; De Jesus et al., 2026; Rodrigues et al., 2023). Dessa forma, a incorporação desse nanomaterial em eletrodos de pasta de carbono representa uma estratégia promissora para o desenvolvimento de materiais destinados a dispositivos de armazenamento de energia.

A caracterização do comportamento eletroquímico desses materiais pode ser realizada por meio da voltametria cíclica, técnica eletrodinâmica amplamente utilizada para investigar processos de transferência de carga e determinar parâmetros associados ao desempenho de materiais eletródicos (Elgrishi et al., 2018; Pacheco et al., 2013).

---

## Objetivo

Desenvolver e caracterizar eletrodos quimicamente modificados, com diferentes concentrações de óxido de grafeno e avaliar por voltametria cíclica, a influência da concentração de OG sobre a resposta eletroquímica e a capacitância dos sistemas.

---

## Materiais e Métodos

O óxido de grafeno (GO) foi sintetizado a partir de grafite pelo método de Hummers modificado (Hummers; Offeman, 1958). Em seguida, foram preparados eletrodos de pasta de carbono (EPC) modificados com diferentes concentrações de GO, contendo 5% e 10% do nanomaterial, por meio da mistura homogênea de grafite em pó, óxido de grafeno e óleo mineral como agente aglutinante.

As medidas eletroquímicas foram realizadas em uma célula convencional de três eletrodos, utilizando os EPCs modificados como eletrodos de trabalho, um eletrodo de referência Ag/AgCl e um contraeletrodo de platina. Como eletrólito suporte, empregou-se uma solução de cloreto de potássio contendo ferricianeto de potássio ( $\text{KCl}/\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ). As análises foram conduzidas com um potenciostato acoplado a um computador para aquisição e processamento dos dados. Medidas obtidas por De Jesus et al., 2026, no Laboratório de Química da UESC.

A caracterização eletroquímica dos materiais foi realizada por voltametria cíclica. O método empregado baseia-se na determinação da capacitância na região da dupla camada elétrica (DCE) por meio da medida da corrente capacitiva. A capacitância da dupla camada elétrica foi determinada a partir da relação entre a corrente capacitiva e a velocidade de varredura na região compreendida entre os picos de oxidação e redução do eletrólito. A capacitância aparente foi obtida pela relação apresentada na Equação (1):

$$i = C_d S v \quad (1)$$

Posteriormente, a capacitância específica da dupla camada elétrica foi calculada pela Equação (2) a seguir, considerando a área geométrica do eletrodo de trabalho de  $0,12 \text{ cm}^2$ .

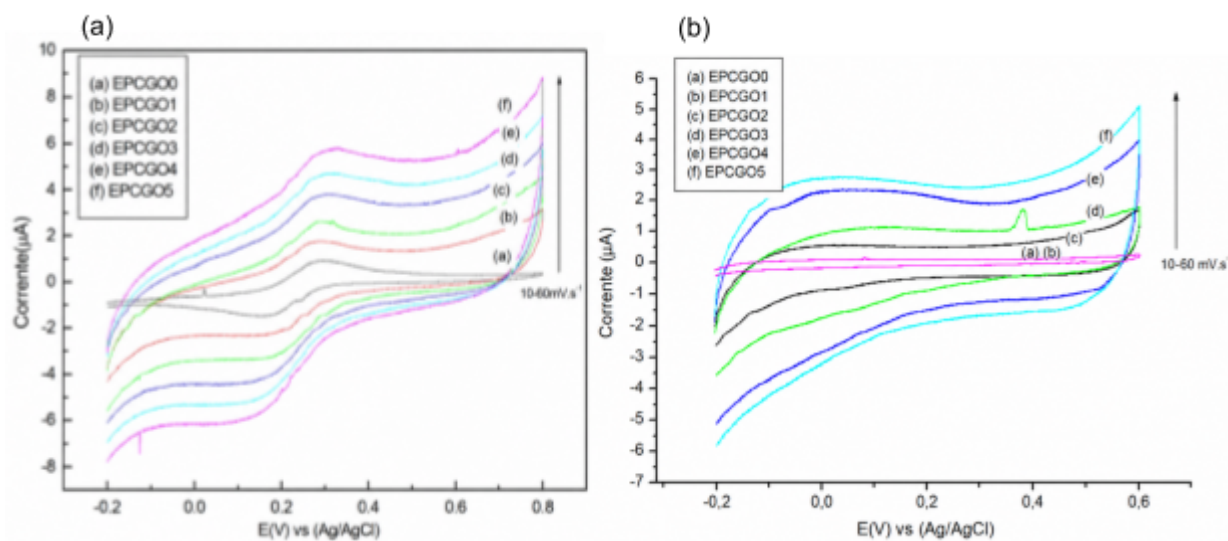
$$C = C_d S \quad (2)$$

---

## Resultados

As Figuras 1 a seguir apresentam os voltamogramas cíclicos obtidos para os eletrodos de pasta de carbono modificados com 10% e 5% de óxido de grafeno (GO), respectivamente, em solução de  $\text{KCl}/\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , utilizando velocidades de varredura entre 10 e  $60 \text{ mV s}^{-1}$ .

Figura 1: Voltamogramas Cíclicos do eletrodo de pasta de carbono a diferente concentração de óxido de grafeno relativo ao teor de grafite: (a) 10% (b) 5%.



Fonte: Autores (2025).

No voltamograma apresentado na Figura 1(a) do eletrodo modificado com 10% de GO, foram observados picos de oxidação e redução em aproximadamente 0,30 V e 0,15 V, respectivamente, sendo a região correspondente à dupla camada elétrica (DCE) identificada entre 0,40 V e 0,60 V. Em contraste, o eletrodo contendo 5% de GO, representado na Figura 1 (b), não apresentou picos redox bem definidos, e a região da DCE foi determinada no intervalo de potencial entre 0,30 V e 0,35 V.

A partir do tratamento dos dados experimentais, a capacitância da dupla camada elétrica ( $C_d$ ) foi determinada utilizando a velocidade de varredura de  $20 \text{ mV s}^{-1}$ , por apresentar voltamogramas mais estáveis e com melhor definição. Os valores obtidos foram de  $572,71 \mu\text{F cm}^{-2}$  para o eletrodo com 10% de GO e de  $49,4 \mu\text{F cm}^{-2}$  para o eletrodo com 5% de GO.

## Discussão

Os resultados demonstram que o aumento do teor de GO de 5% para 10% promoveu um acréscimo expressivo na capacitância da DCE. Embora a área geométrica dos eletrodos tenha permanecido constante ( $0,12 \text{ cm}^2$ ), a incorporação de maiores quantidades de GO contribuiu para o aumento da área eletroquimicamente ativa, devido ao aumento do número de sítios eletroativos proporcionado pela incorporação do óxido de grafeno, favorecendo a interação entre o eletrólito e a superfície do eletrodo. Os intervalos de potencial utilizados para a determinação da corrente capacitiva foram definidos individualmente para cada eletrodo, considerando as regiões em que a resposta voltamétrica apresentou comportamento predominantemente não faradaico e maior estabilidade de corrente.

Dessa forma, os resultados evidenciam que o óxido de grafeno exerce influência significativa sobre o desempenho eletroquímico do sistema. O aumento de sua concentração favoreceu o surgimento de picos redox mais pronunciados e elevou substancialmente a capacitância da dupla camada elétrica, indicando maior atividade eletroquímica e uma interação mais eficiente entre a superfície do eletrodo e as espécies eletroativas presentes na solução. A combinação entre comportamento capacitivo e atividade faradaica reforça o potencial desse material para aplicações em dispositivos de armazenamento de energia.

---

## Considerações Finais

Os resultados obtidos demonstraram que a incorporação de GO influencia diretamente o comportamento eletroquímico dos eletrodos, promovendo alterações nas respostas voltamétricas, refletidas nos valores de capacitância e na ampliação da área eletroquimicamente ativa. Nesse contexto, a voltametria cíclica mostrou-se uma técnica adequada para a caracterização dos sistemas estudados, permitindo avaliar o desempenho eletroquímico dos eletrodos modificados por meio da identificação dos picos de oxidação e de redução, do perfil das curvas e da área sob a resposta eletroquímica.

Entre as composições analisadas, o eletrodo contendo 10% de GO apresentou o melhor desempenho quanto à capacidade de armazenamento de carga. Em comparação ao eletrodo contendo 5% de GO, foi observado um aumento de aproximadamente doze vezes na capacitância, resultado associado ao maior acesso do eletrólito à superfície do eletrodo e ao aumento da área eletroquimicamente ativa. Dessa maneira, os resultados evidenciam que a modificação de eletrodos de pasta de carbono com óxido de grafeno constitui uma estratégia

eficiente para aprimorar suas propriedades eletroquímicas, reforçando o potencial desses materiais para aplicações em sistemas de armazenamento de energia.

---

## Referências

ACHACHE, M. *et al.* Development and applications of carbon paste and Sonogel-Carbon electrodes modified with nanomaterials: Perspectives in pharmaceutical, biological, environmental and food analysis: A review. **Trends in Analytical Chemistry**. [s. l.], v. 194, n. 118502, P. A, out. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2025.118502>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016599362500370X?via%3Dihub>. Acesso em: 18 mai. 2026.

BEGUIN, François; FRACKOWIAK, Elzbieta. **Supercapacitors: Materials, Systems and Applications**. Alemanha: Wiley-VCH, 2013. E-book. DOI: 10.1002/9783527646661. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=uIt1kMzOduIC&lpg=PP11&dq=F.%20B%C3%A9guin%2C%20E.%20Frackowiak%2C%20orgs.%2C%20Supercapacitors%3A%20Materials%2C%20Systems%2C%20and%20Applications%2C%20John%20Wiley%20%26%20Sons%2C%202013.%20doi%3A10.1002%2F9783527646661.&lr&hl=ptBR&pg=PP1#v=onepage&q&f=true>. Acesso em: 12 mai. 2026.

CONWAY, B. E. **Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals and Technological Applications**. Nova York: Springer Science + Business Media, 1999. E-book. DOI: 10.1007/978-1-4757-30586. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=zCblBwAAQBAJ&lpg=PA1&dq=B.%20E.%20Conway%2C%20Electrochemical%20Supercapacitors%3A%20Scientific%20Fundamentals%20and%20Technological%20Applications%2C%20Springer%20US%2C%20New%20York%2C%201999.%20doi%3A10.1007%2F978-1-4757-3058-6.&lr&hl=ptBR&pg=PA1#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 12 mai. 2026.

DE JESUS, R. S. *et al.* Tritrpticin interaction with chemically modified graphene oxide paste electrode for antimicrobial and biocompatibility activity control. **Carbon Trends**, v. 23, art. 100640, abr. 2026. DOI: 10.1016/j.cartre.2026.100640. Disponível em:



PROEX  
Pró-Reitoria de Extensão  
e Assuntos Comunitários



CCFIS  
Colégio de Física

CCMAT  
Colégio de Matemática  
Vitória da Conquista

PROCIEMA  
PROGRAMA DE ENSINO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA  
PROGRAMA DE EXTENSÃO

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667056926000349>. Acesso em: 15 jul. 2026.

ELGRISHI, Noémie *et al.* A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry. **Journal of Chemical Education**, Washington, DC, Estados Unidos, v. 95, n. 2, p. 197–206, 2018. DOI: 10.1021/acs.jchemed.7b00361. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.7b00361>. Acesso em: 12 jun. 2026.

HUMMERS Jr. W. S; OFFEMAN, R. E. Preparation of Graphitic Oxide. *Journal of the American Chemical Society*, Estados Unidos v. 80, n.6, p. 1339-1339, mar. 1958. DOI:10.1021/JA01539A017. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja01539a017>. Acesso em: 02 jun. 2026.

MONTEIRO, M. D. S. *et al.* Eletroquímica: Eletrodos Modificados e suas Potencialidades. **Revista Virtual de Química**, Sergipe, v.12, n.5, p. 1145-1160, out. 2020. DOI: 10.21577/1984-6835.20200092. Disponível em: <https://rvq.sbq.org.br/pdf/v12n5a08>. Acesso em: 16 mai. 2026.

MURRAY, Royce W. **Chemically Modified Electrode**. Relatório Técnico n. 12. Carolina do Norte: University of North Carolina - Department of Chemistry, 1980. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA080991.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2026.

PACHECO, W. F. *et al.* Voltametrias: Uma Breve Revisão Sobre os Conceitos. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 4, p. 516-537, ago. 2013. DOI: 10.5935/1984-6835.20130040. Disponível em: <https://rvqsub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/380/345>. Acesso em: 01 mar. 2026.

RODRIGUES, P. V. *et al.* Estudo da redução do óxido de grafeno para captura de CO<sub>2</sub>. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CATÁLISE, 22., 2023. Bento Gonçalves, RS. **Anais [...]** Bento Gonçalves: Sociedade Brasileira de Catálise, 2023 Disponível em: <https://submissao.22cbcat.sbcacat.org/index.php/2023-cbcat/article/view/127>. Acesso em: 15 mai. 2026.



**PROEX**  
Pró-Reitoria de Extensão  
e Assuntos Comunitários



**CCFIS**  
Colegiado de Física

**CCMAT**  
Colegiado de Matemática  
Vitória da Conquista

**PROCIEMA**  
PROGRAMA DE ENSINO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA  
PROGRAMA DE EXTENSÃO

SEGUNDO, J. E. D. Vieira; VILAR, E. O. Grafeno: Uma revisão sobre propriedades, mecanismos de produção e potenciais aplicações em sistemas energéticos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 54–67, mar. 2017. Disponível em: <https://remap.revistas.ufcg.edu.br/index.php/remap/article/view/493>. Acesso em: 23 fev. 2026.

YASEEN, M. et al. A Review of Supercapacitors: Materials Design, Modification, and Applications. **Energies**, Suíça, v.14, n. 7779, 19 nov. 2021. Issue 22, p. 1-40. DOI:<https://doi.org/10.3390/en14227779>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/22/7779>. Acesso em: 14 mai. 2026.



**PROEX**  
Pró-Reitoria de Extensão  
e Assuntos Comunitários



**CCFIS**  
Colegiado de Física

**CCMAT**  
Colegiado de Matemática  
Vitória da Conquista

